

局所振動暴露による脳循環系への影響 - Impedanceplethysmography の脳循環測定への応用 -

金沢大学医学部公衆衛生学教室

伊 藤 史 子

(昭和52年11月22日受付)

脳の血行動態をみる方法は、古来多くの研究者により様々な方法が考案され、臨床的に応用が可能なものとして、古くから N_2O 法が行われて来たが¹⁾、近年、 Xe^{133} などの種々の放射性同位元素を indicator として脳血流を定量的に測定する試みが行われている²⁾。しかし、これらの方法による測定も、測定操作が面倒であり、また、短時間内の血流変動や連続的な変化を見るには必ずしも適していない。

血流を非観血的、連続的かつ被験者に何ら侵襲や苦痛なく測定可能な方法の一つとして生体に高周波電流を印加し、インピーダンスの変動から血流に関する情報を得ようとする試み、すなわちインピーダンス脈波

を導出する Impedanceplethysmography があるが、本研究では振動が脳血流に与える影響を実験的に調べるため、この測定方法を採用した。

Impedanceplethysmography は電極の添付が可能であれば生体のどの部分の血流測定にも応用でき、脳に应用した場合、Rheoencephalography(REG) と称されている。

REG による研究は、Hadjiev³⁾、Markovich⁴⁾、Lechner⁵⁾ らの報告で明らかなように、諸外国では研究も活発で、臨床的应用も多方面から検討されているが、我が国ではこの方面の研究や経験が少なく、頭皮上から脳内血流を観察できるかどうか議論もあり、そ

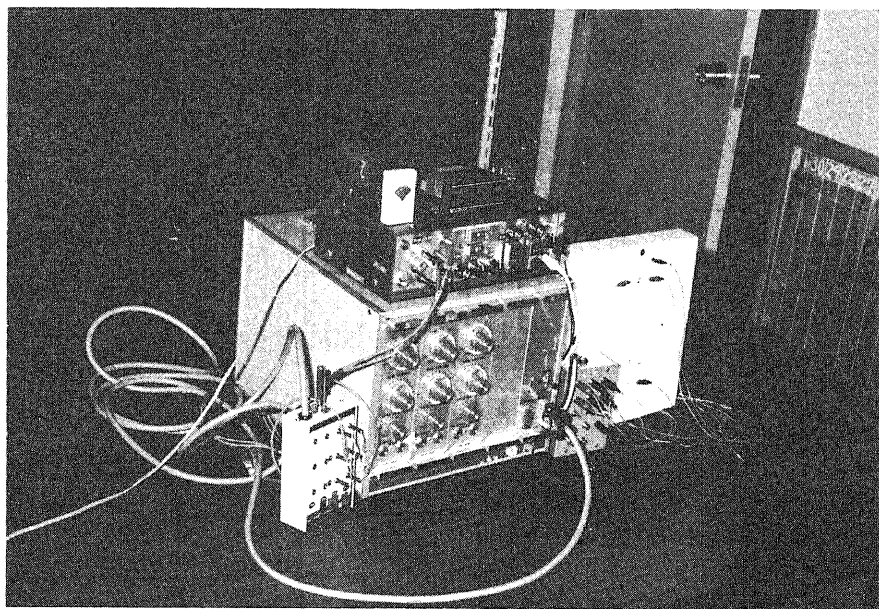


Fig. 1

Effects of Local Vibration Exposure on the Cerebral Blood Flow. - Application of Impedanceplethysmography to the Measurement of Cerebral Blood Flow -. Fumiko Ito, Department of Public Health, Kanazawa University, School of Medicine, .

の評価は一定していない^{6)~9)}。REGが脳の血行動態の観察に有効な方法であるか、これを明らかにするには、現状では先ず、感度が良く再現性の良い結果を得ることの出来る装置を開発することが肝要である。そこで、著者はインピーダンス脈波計を試作したのであるが、その有効性について実験的検討を行った。

インピーダンス脈波計の概要

インピーダンス脈波計には、ブリッジ法の原理に基づく二電極方式および四個の電極を用い、電流印加部分と検出部分を分離した四電極方式の2つがあるが、本研究では四電極方式を採用し、装置を九州大学菅野氏の御協力により作成した。四電極方式を採用した理由は、この方式は二電極方式に比して電気的にも安定性が高く、電極の接触抵抗の影響を受けることがなく、

Table 1 インピーダンス脈波計の特性

使用電源	AC 100V
使用電力	10W/1channel
定電流源発振周波数	40KHz
定電流源電流値	0.2mA
Z ₀ の動作範囲	10~150Ω
Z ₀ の較正精度	1%±1Ω(100Ωにつき)
Z ₀ の直線性(上記の精度で)	10~100Ω

また再現性の良い結果が得られる¹⁰⁾など様々な利点を有し、この方法で導出される頭部のインピーダンス脈波は頭皮血流の影響が非常に少ない¹¹⁾とされているからである。さらに、四電極方式でのみ脳の任意の部分のREGを同時に記録でき、多チャンネル測定が可能であることは大きな利点である。

本研究で作成した脈波計には、同時に脳の左右の血流測定ができるように2チャンネルの測定回路を挿入した。(Fig-1)の上段にある小型の装置がインピーダンス脈波計の本体である。下段は交流増幅器である。脈波計の電気的特性は(Table-1)に示すように、40KHz、0.2mAの高周波定電流を電流源とし、10Ωから100Ωの範囲においてインピーダンスの直線性が保持されている。

本装置による脳の血流測定の概要は(Fig-2)に示す通り頭皮上に4個の表面電極を添付し、これらの間に高周波定電流を印加し、電流電極間に置いた2個の検出電極より組織の血量の変化に伴うインピーダンスの変化を電位差の変動として検出するものである。脈波信号は、増幅検波回路、さらに積分、増幅回路を経て導出され、これを交流増幅器にて増幅すると脈波として記録できる。電流電極間にさらに一対の検出電極を添付すれば2チャンネル誘導ができる。

脈波計本体の回路図の概要は、1チャンネル分について示すと(Fig-3)の如くである。回路には0.1Ωの較正回路を組み込み、被験部組織のインピーダンスのバランスをとって直流成分Zを取り出し、この上に

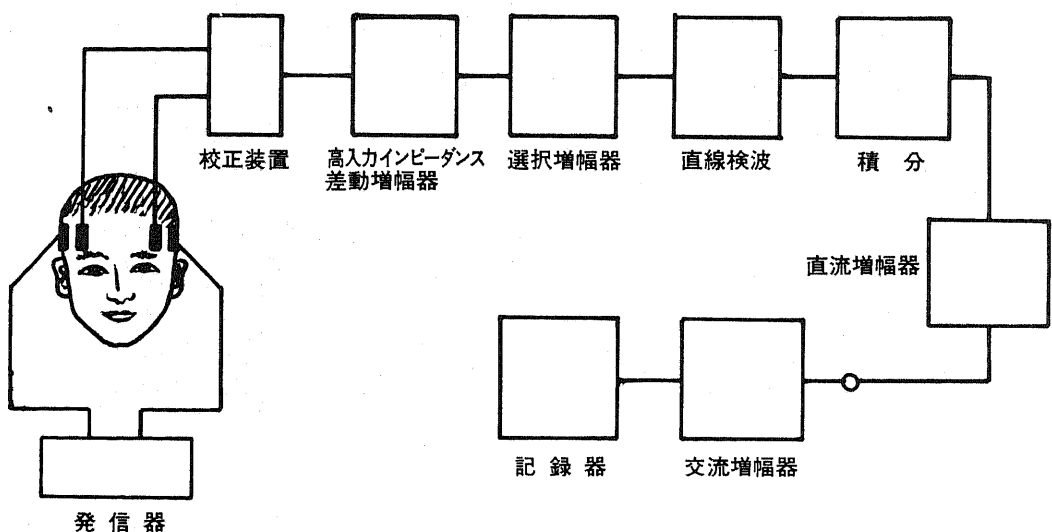


Fig. 2 頭部インピーダンス脈波測定の概要

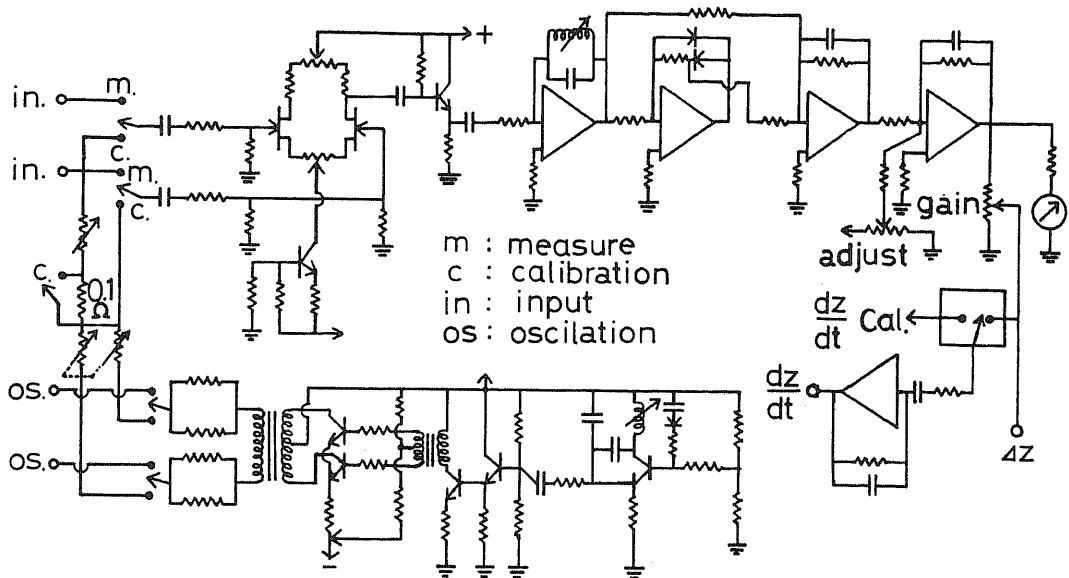


Fig. 3 定電流四電極方式インピーダンス脈波計回路図

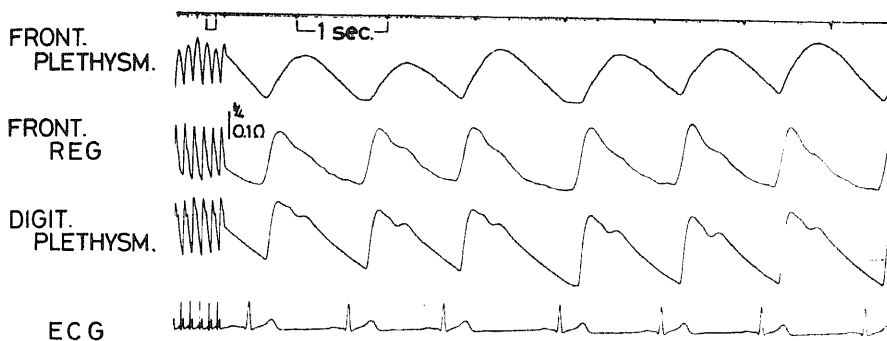
RHEOENCEPHALOGRAM OF HEALTHY MAN
(Y.M. 20 Years)

Fig. 4

加わるインピーダンスの変化分、すなわち交流成分 ΔZ を脈波として増幅している。

REG により得られる脈波

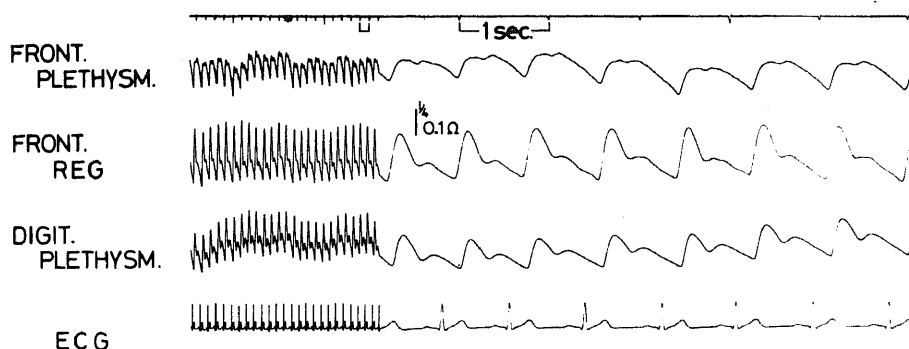
測定は 電流電極に大きさ 3×4 cm, 検出電極に大きさ 2×3 cm の平板銀電極を用い、電流電極は両側々頭部に置き、検出電極は前頭部に約 10 cm の間隔で左右対称に置いて測定を行った。電極の装着部位の皮膚は消毒用アルコールで清拭して脱脂し、皮膚と電極との接触を良くするため電極には食塩糊を塗布した。こ

のようにして測定した安静時仰臥位の頭部のインピーダンス脈波 (REG) の一例を (Fig. - 4) に示した。図の 2 段目の脈波が REG である。上段の脈波は前頭部中央で測定した反射型光電脈波で、この方法で得られる脈波は頭皮の血流を反映するものである。両脈波とも頭皮上の同じ部位で脈波を導出しているのであるが、両者の形状は異なり、インピーダンス脈波は頭皮とは異なる組織の血流を反映していることが推察される。また、このような形状の違いは、血管に拡張作用を及ぼす物質を与えた場合にも認められる (Fig. -

5). すなわち、全身の末梢血管を拡張させる作用のある nitroglycol (ダイナマイトの原料に用いられる亜硝酸化合物, $C_2H_4(ON_2)_2$) を下肢から経皮吸収させた場合の前頭部の REG を見ても、REG は脈波切痕が著しく低くなり明らかな拡張波形を呈しているが、同部位の頭皮の血流脈波の波形の変化は僅かで、この場合にも両脈波は著しく形状が異なっていた。

以上の成績でも、REG は頭皮以外の血流を反映していることが示唆されるが、このようにして得られた

REG が果して脳の血流を反映するものであるかどうかをみるため、脳血管に対してのみ特異的に血管拡張作用を有するものとして CO_2 が知られているので¹²⁾、5% CO_2 を吸入した場合の前頭部の REG および頭皮の血流の変化を反射型光電脈波によって観察した (Fig. - 6)。その結果、REG 脈波の波高は CO_2 の吸入により著しく高まるのを認めた。しかし、頭皮の血流脈波の波高には変化がないかむしろ減少が認められたので、これらの結果から、インピーダンス法で測定



EFFECT OF VASODILATOR (NITROGLYCOL) ON REG
(Y.M. 20Years)

Fig. 5

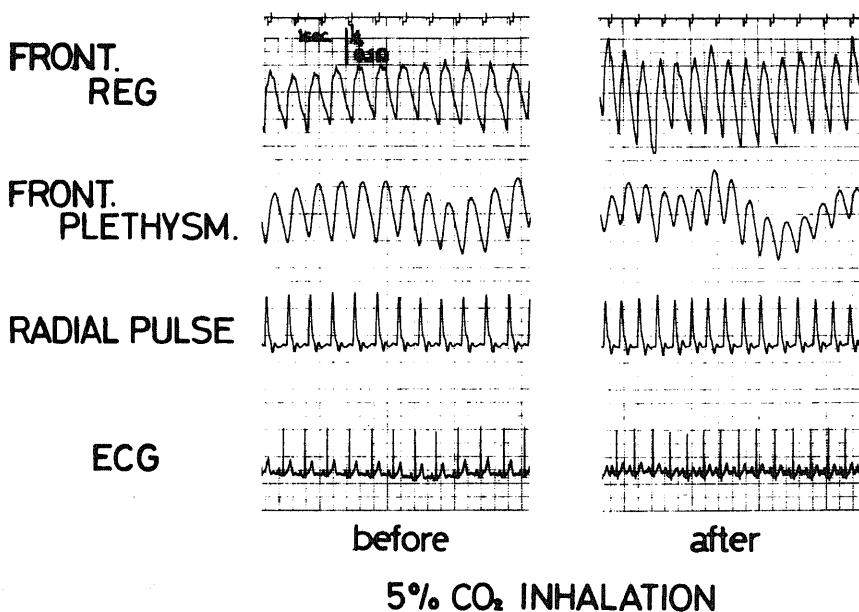


Fig. 6

した頭部の脈波は脳の脈波であることが推察された。

考 察

インピーダンスプレチズモグラフィのヒトの脳への最初の応用は Polzer¹³⁾ (1950) によってなされ、この方法は Rheoencephalography (REG) と呼ばれた、当初の REG はブリッジ法の原理に基くもので、測定しようとする脳の 2 点間のインピーダンスをブリッジの一边に組み込み、他の 2 辺に高周波電流を流し、ブリッジ間のバランスをとった後その部分の血量の変化によるインピーダンスの変化を測定する方法である。この方法は 2 個の電極を用いるので 2 電極法とも言われている。

しかし、ブリッジ法では、電極間の相互干渉や電極の接触部分のズレが実質的な artefact になり易い。電流分布にムラが生じ易いなどの欠点があり、このためきれいな脈波を得難い場合が多く、再現性の点で問題が残っている。さらに、測定中に頻回にバランスをとる必要があるなど操作上の面当さは否めない。ブリッジ法による REG では、Bertha¹⁴⁾ によると、波形構成の約 63% が脳内血流を反映するとしている。その後、Lechner¹⁵⁾ (1961) は方法的な改良を行い、電流電極と検出電極の各 2 個を分離した四電極方式を考案した。この方法はインピーダンス脈波計の概要の項で述べたように、二電極法に比して様々な利点を有しており、波形構成は殆んど脳の血流によるとされている。このように REG には 2 つの方式があるが、本研究では定電流四電極方式インピーダンス脈波計を作成し、脳血流測定への有効性について検討した。

有効性としては、先ず本装置がどの程度脳の血行動態を捕捉できるかが問題となるのであろう。これを明らかにするため、著者は CO₂ 吸入実験により脳血管を特異的に拡張させた場合のインピーダンス脈波を観察し、REG 上にのみ血管の拡張を確認した。また、菅野¹⁶⁾¹⁷⁾ も頸動脈圧迫試験を行い、皮膚上から両側の内頸動脈を一時的に圧迫し閉塞すると、前頭部のインピーダンス脈波は消失し、閉塞を解除すると再び現われるのを認めた。しかし、前頭部の頭皮の血流を反映する反射型光電脈波波形には全く変化を認めず、インピーダンス脈波は脳内の血流を反映していることを確認した。これらのことから、作成したインピーダンス脈波計により、頭皮上からの測定にも拘わらず脳の血行動態を捕捉できることが推察された。

なお、REG 法では、印加電流の分布している脳の組織容量を知ることができないので、定量的な脳血流の測定はできないが、電極の位置と大きさが適切であれ

ば頭皮上から脳血流の変化を定性的に記録することは充分可能であり、測定は被験者に侵襲や苦痛もなく、非観血的かつ連続的な観察ができることは本法の大きな利点であり、分後の応用が期待できる。

結 語

手への局所振動暴露による脳の血流変化を観察する目的で、定電流四電極方式インピーダンス脈波計を作成した。本装置が脳の血流を捕捉し得るものであるか、前頭部の同じ部位においてインピーダンス脈波 (RGE)、および反射型光電脈波計により頭皮の血流脈波を導出し、種々比較検討したが、CO₂ 吸入実験によって REG 上にのみ血管の拡張像が現われるのを認め、REG は脳の血流を反映することが推察された。

御教示、御校閲を賜った岡田晃教授に感謝致します。本装置の作成に多大な御協力をいただき、終始御指導下さいました九州大学医学部菅野久信教授に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) Kety, S. S. & Schmidt, C. F.: *Am. J. Physiol.*, **143**, 53, (1945).
- 2) Posner, J. B.: *Stroke*, **3**, 227 (1972).
- 3) Hadjiev, D.: *Progress in Brain Research*, vol. 35, *Cerebral Blood Flow*, 25, (1972).
- 4) Eds Markovich, S. E.: *Ann. N. Acad. Sci.*, **170** (2), 594 (1970).
- 5) Eds Lechner, H.: *Rheoencephalography and plethysmographical methods*, Excerpta Medica Foundation, Amsterdam, 1969.
- 6) 金子仁郎・石井康雄: *臨床脳波*, **2**, 65 (1960).
- 7) 倉田 誠・平井弘之: *老年病*, **6**, 292 (1962).
- 8) 桑原武夫: *脳と神経*, **11**, 209 (1959).
- 9) 坂田一記・佐藤 収・鈴木晴雄・竹友隆雄: *脳と神経*, **17**, 681 (1965).
- 10) David, G., Young, Jr., Robert, H., Cox, M. S., Emery, K. Stoner & William J. Erdman II.: *Am. J. Physical Med.*, **46**, 1261 (1967).
- 11) Lechner, H. & Martin, F.: *Rheoencephalography and plethysmographical methods* Excerpta Medica Foundation, Amsterdam, 1969.
- 12) 相沢豊三: *脳循環とその臨床*, **120**, 中外医学社, 東京, 1967.
- 13) Polzer, K. & Schuhfried, F.: *Wien Z. Nervenheilk.*, **3**, 295 (1950).
- 14) Bertha, H., Heppner, F., Jenkner, F. L.,

Lechner, H. & Rodler, H. : Zbl. Neurochir., 15, 57 (1955).

15) Lechner, H. & Rodler, H. : Elektromedizin, 6, 75 (1961).

16) 菅野久信・富永秀敏・倉田 誠 : 第13回 ME

学会大会予稿集, 348, 1974.

17) Sugano, H. & Tominaga, H. : Impedance Method in Health Care, Academic Press, U. S. A. (in press).

A b s t r a c t

Impedanceplethysmography is one of the methods which can measure cerebral blood flow noninvasively and continuously using surface electrodes on the head and is called rheoencephalography (REG).

But the validity and effectivity of REG are not fully appreciated in Japan.

In this paper the author, using four the electrode impedanceplethysmography, studied whether rheoencephalogram (REGm) reflects the intracranial blood flow or not.

REGm obtained by the four electrode impedanceplethysmography showed a different wave form from that of the scalp which was obtained by the photoelectric plethysmography from the same part where impedance electrodes were set. On the CO₂ inhalation test, a particular wave characteristic of vasodilation of cerebral vessels was clearly observed on REGm. This might mean that REGm reflects intracranial blood flow.
